

УДК 629.11.012

В.В. ДУЩЕНКО, канд. техн. наук (м. Харків)**ПИТАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА СИНТЕЗУ НОВИХ ФІЗИЧНИХ
ПРИНЦИПІВ ДІЇ ВУЗЛІВ СИСТЕМ ПІДРЕСОРИЮВАННЯ
ВІЙСЬКОВИХ ГУСЕНИЧНИХ І КОЛІСНИХ МАШИН**

Представлены результаты оптимизации характеристик, а также поиска и анализа физико-технических эффектов, пригодных для реализации новых физических принципов действия упругих элементов и демпфирующих устройств систем поддрессирования военных гусеничных и колесных машин.

Results of optimization of characteristics, and also search and the analysis of physico-technical effects, suitable for realization of new physical mode of functioning of elastic elements and the snubber devices of systems of a cushioning of military caterpillar and wheel machines are submitted.

Постановка проблеми. Пошук шляхів удосконалення та аналіз критеріїв розвитку показників якості сучасних систем піддресорювання (СП) військових гусеничних і колісних машин (ВГКМ) говорить про те, що досить часто фізичні принципи дії (ФПД) і технічні рішення (ТР), що використовуються в їхніх вузлах, не дозволяють задовольнити підвищені вимоги, які висуваються до перспективних машин. Можливим рішенням даної проблеми є перехід до нових поколінь вузлів і агрегатів СП, які використовують інші ФПД та ТР, що їх реалізують.

Аналіз останніх досягнень. У роботі [1], при постановці задачі синтезу нових ФПД і ТР пружних елементів (ПЕ) та демпфіруючих пристроїв (ДП) підвіски ВГКМ, було сформульовано проблемну ситуацію розвитку та протиріччя, які заважають її вирішенню. У роботах [2,3] представлено репольний (речовина-поле) аналіз ПЕ і ДП та визначено можливі перспективні напрямки створення їх нових ФПД та ТР.

Мета досліджень. Застосувати результати проведених функціонально-фізичного і репольного аналізів при оптимізації характеристик ПЕ та ДП і, в якості прикладу, синтезувати по деяким перспективним напрямкам нові ФПД і ТР даних вузлів СП ВГКМ.

І. Одним з протиріч розвитку ПЕ, що були розглянуті у роботі [1], є необхідність забезпечення їхньої “нульової” (мінімальної) жорсткості у випадку кінематичного збурювання і максимально можливої жорсткості у випадку динамічного збурювання. З іншого боку, підйоми, спуски і нерівності з великим перепадом висот та кінцева величина динамічного ходу підвіски, вимагають певної, не “нульової”, але й не максимальної, величини жорсткості ПЕ.

Проведемо оцінку впливу і оптимізацію характеристики ПЕ із ділянкою “нульової” жорсткості на рівні статичного ходу на прикладі бронетранспортера БТР-70 з дослідними пневмогідравлічними ресорами

(ПГР). Дослідження будемо проводити за допомогою розробленої і експериментально перевіреної математичної моделі руху колісної машини (КМ) при її пересуванні по синусоїдальним нерівностям, що мають період дві бази машини. У якості вихідної, була прийнята характеристика ПГР (рис.1), яка складалася із трьох ділянок, друга з котрих мала “нульову” жорсткість, а на третій жорсткість прогресивно збільшувалася. Необхідно зазначити, що використання ПЕ з ділянкою “нульової” жорсткості приводить до зависання підвіски на початку або кінці даної ділянки і відповідно до невизначеного положення підресованого корпусу машини у просторі. Це викликано наявністю тертя в шарнірах підвіски, особливо гумових сайлент-блоках. Для зменшення зазначеного тертя, гумові шарніри частково були замінені металевими сферичними шарнірами. Це, у свою чергу, знизило демпфірування у підвісці та погіршило параметри плавності ходу. Як показали розрахунки, при відсутності тертя та жорсткості зазначених шарнірів, мінімальна прохідна висота нерівностей на резонансному режимі руху 8,88...10,0м/с (32...36км/год) знизилася з 0,14м до 0,1м. Істотно знизилася плавність ходу і на дорезонансному режимі. Таким чином, тертя в гумових шарнірах підвіски забезпечує істотне демпфірування коливань підресованого корпусу КМ і відсутність даних шарнірів повинна бути компенсована збільшенням сил опору основних ДП підвіски.

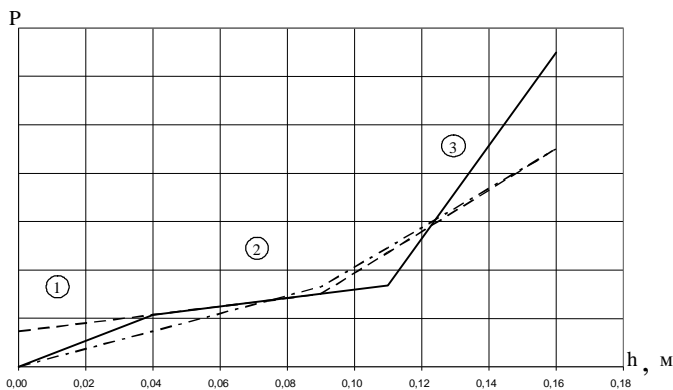


Рисунок 1 – Пружні характеристики ПГР (1; 2; 3 – ділянки різної жорсткості)

———— вихідна. хар-ка ПГР; - - - - - оптим. хар-ка ПГР;
 - · - · - · хар-ка без ділянки “нульової” жорсткості

В якості проектних параметрів при оптимізації вибиралися наступні: жорсткості 1-ї, 2-ї та 3-ї ділянок пружної характеристики, а також переміщення штока ресори, що відповідають моментам початку роботи 2-ї і 3-ї ділянок. Критерій якості роботи СП представлявся у вигляді

інтегрального показника прохідних висот нерівностей у діапазоні швидкостей 4,44...13,33м/с (16...48км/год). Для пошуку максимуму критерію якості та оптимального вектора проектних параметрів, що йому відповідає, використовувався метод покоординатного під'йому Гаусса-Зейделя в сполученні з методом “золотого перетину” для одновимірного пошуку по окремому параметру. Результати оптимізації пружної характеристики ПГР представлені на рис. 1, з яких витікає наступне:

1) жорсткість 1-ї ділянки характеристики необхідно знизити до рівня жорсткості 2-ї, що приводить до об'єднання ділянок;

2) початок роботи 3-ї ділянки повинен змінитися з 0,11м до 0,09м;

3) жорсткості 3-ї ділянки характеристики необхідно зменшити на 31%.

На рис. 2 представлені швидкісні характеристики СП, з яких витікає, що застосування ділянки пружної характеристики з “нульовою” жорсткістю не істотно (з 0,1м до 0,11м) збільшило прохідну висоту нерівностей на резонансному режимі, однак значно її підняло на дорезонансному режимі (при швидкості руху 4,44 м/с (16км/год) – з 0,31м до 0,58м, тобто на 87%) і на зарезонансному режимі (при швидкості руху 13,33м/с (48км/год) – з 0,13м до 0,23м, тобто на 77%).

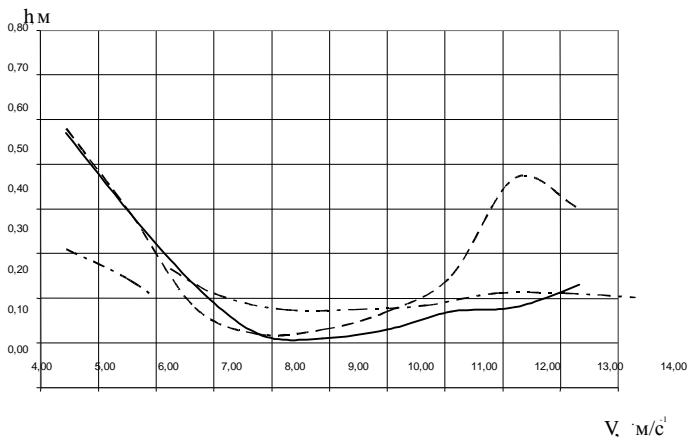


Рисунок 2 – Швидкісні характеристики СП (гумові шарніри відсутні)

— вихідна хар-ка ПГР; - - - оптим. хар-ка ПГР; - · - · - хар-ка ПГР без ділянки “нульової” жорсткості

Проведена оптимізація забезпечила збереження високої плавності ходу на дорезонансному режимі руху, (ріст прохідної висоти нерівностей склав 2%), підвищення мінімальної прохідної висоти з 0.11м до 0.12м (тобто на 10%) на резонансному режимі та істотне збільшення плавності ходу на високих швидкостях руху (зарезонансний режим). При швидкості руху 12,2

м/с (44км/год) прохідна висота нерівностей збільшилася з 0,18м до 0,48м, тобто в 2,7 рази.

Таким чином, використання оптимальної пружної характеристики з ділянкою “нульової” жорсткості у порівнянні із звичайною пружною характеристикою, для розглянутої КМ, привело до підвищення мінімальної прохідної висоти нерівностей на дорезонансному, резонансному і зарезонансному режимах руху відповідно на 89%, 20% та у 3,4 рази. Дані висновки було підтверджено полігонними випробуваннями КМ “Дозор” з дослідними ПГР.

Як показали розрахунки, для компенсації зниження тертя в шарнірах підвіски і підвищення мінімальної прохідної висоти нерівностей на резонансному режимі руху до рівня, що відповідає сучасним вимогам, для БТР-70 необхідне збільшення сил опору основних ДП в 2,7 рази.

II. Проведемо пошук оптимальної характеристики ДП. Одними з протиріч розвитку ДП, що були розглянуті у роботі [1], є наступні:

1) на прямому ході, ДП підвіски, у випадку кінематичного збурювання, повинні мати мінімальний опір, оскільки він приводить до порушення коливань, а у випадку динамічного збурювання – максимальний, що забезпечує необхідне ефективне гасіння коливань;

2) на зворотному ході підвіски, незалежно від швидкості руху, а також висоти та довжини нерівностей, ДП повинні дозволити опорному вузлу (ОВ – колесу або котку) відслідковувати нерівність з нульовою реакцією, тобто повністю відбирати, накопичену ПЕ, енергію, але не допускати зависання ОВ з його відривом від ґрунту.

Проведене дослідження впливу характеру сил опору ДП підвіски на плавність ходу гусеничної машини (ГМ) показало, що використання фрикційних амортизаторів (ФА), у порівнянні з гідравлічними (ГА), дозволяє істотно зменшити амплітуди повздошно-кутових і вертикальних коливань підресованого корпусу, теплову напруженість ДП, а також збільшити мінімальну прохідну висоту нерівностей на резонансних режимах руху. Це стало можливим завдяки тому, що у ФА сили опору залежали тільки від переміщення ОВ, на відміну від ГА, де дані сили залежали лише від швидкості його переміщення. У результаті, на зворотному ході підвіски ФА починав працювати відразу з максимальним зусиллям опору, у той час як для ефективної роботи ГА ОВ повинен був набрати досить високу швидкість, а за цей час частина енергії, що була накопичена ПЕ, поверталася у коливальну систему та сприяла розгойдуванню машини.

Розглянемо ідеальний випадок, коли ДП підвіски дозволяє ОВ на зворотньому ході відслідковувати профіль нерівностей, зберігаючи при цьому реакцію ґрунту на його осі рівною нулю. Будемо вважати, що машина рухається по синусоїдальним нерівностям з періодом рівним двом її базам.

На рис. 3 представлені графіки зміни в часі: N_z – вертикальної реакції ґрунту на осі ОВ, обумовленої дією ПЕ, Z_1 – динамічного ходу та V_k –

вертикальної швидкості ОВ. Із графіків видно, що коли ОВ повністю використав динамічний хід, а зусилля, яке розвиває ПЕ, максимальне, вертикальна швидкість переміщення ОВ близька до нуля. У разі застосування ГА, зусилля, яке він розвиває, теж мінімальне, а отже, мінімальна і його ефективність. На рис. 4 крива 1 відповідає характеристиці зворотнього ходу ГА, коли зусилля на штоці залежить від швидкості його переміщення. Крива 2 відображає вид оптимальної характеристики ДП на зворотньому ході, що залежить як від швидкості переміщення, так і від величини переміщення штока відповідно до характеру кривих, представлених на рис. 3. Таким чином, для забезпечення необхідної ефективності, ДП на зворотньому ході підвіски повинний забезпечувати максимальне зусилля опору, порівнянне з моментом від ПЕ при максимальному динамічному ході, з наступним його зменшенням, незважаючи на ріст вертикальної швидкості ОВ по мірі його опускання униз.

N_z, Z_1, V_k

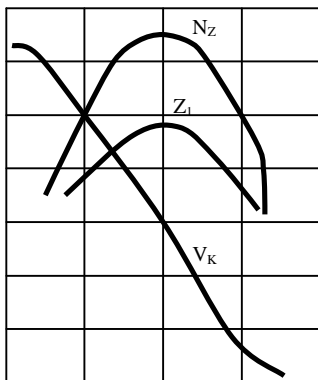


Рисунок 3 – Графіки зміни у часі: N_z – вертикальна реакція; Z_1 – динамічний хід; V_k – вертикальна швидкість ОВ

$P_{шт}$

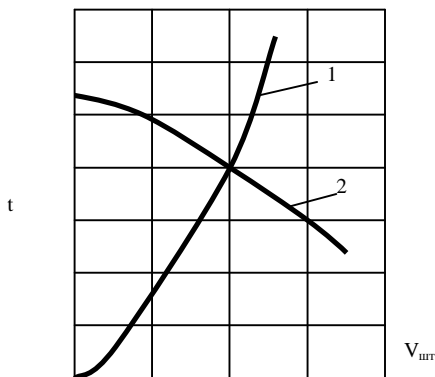


Рисунок 4 – Характеристики ДП
1 – характ. зворотнього ходу ГА;
2 – оптимальна характ. зворотнього ходу ДП

В загальному випадку, оптимальна характеристика 2 повинна залежати від швидкості руху ВГКМ і профілю нерівностей, тобто необхідна спеціальна система керування, яка забезпечує формування даної характеристики зворотнього ходу, в залежності від зазначених умов. Альтернативний варіант, що дозволяє обійтись без системи керування – вибір даної характеристики для певного режиму руху, наприклад, резонансного, по найбільш несприятливому синусоїдальному профілю нерівностей.

Неважко помітити, що найбільш пристосованим для реалізації такої оптимальної характеристики є ФА, оскільки створити великий опір при мінімальній швидкості переміщення ОВ, використовуючи ГА, практично

неможливо. Нижче буде представлено конструкцію ФА з системою керування на основі нового синтезованого ФПД, яка дозволить реалізувати дану характеристику.

Оцінимо вплив одержаної оптимальної характеристики зворотнього ходу ДП на плавність ходу ГМ. На рис. 5. представлені швидкісні характеристики СП ГМ проміжної категорії по масі.

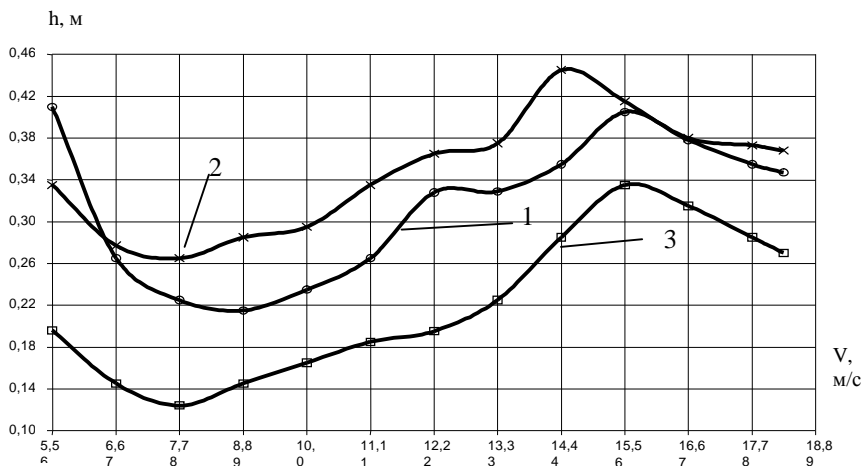


Рисунок 5 – Швидкісні характеристики СП

Крива 1 відповідає вихідним характеристикам ГА, крива 2 – вихідній характеристиці ГА на прямому ході і оптимальній характеристиці на зворотньому ході, яка забезпечується згаданою системою керування, крива 3 – відсутності опору ГА на прямому ході та оптимальній характеристиці на зворотньому ході. З аналізу представлених кривих витікає, що використання на зворотньому ході запропонованої оптимальної характеристики, яка забезпечується системою керування, дозволяє істотно, до 25%, підвищити плавність ходу на резонансному і зарезонансному режимах руху, а скорегувавши характеристику прямого ходу, і на дорезонансному режимі. Використання даної системи керування характеристикою ДП на зворотньому ході, при відсутності опору на прямому ході, приводить до погіршення плавності ходу, що, однак, перебуває в досить прийнятних межах, при цьому теплова напруженість ДП істотно зменшиться, бо на прямому ході він працювати не буде.

III. Розглянемо приклади синтезу нових ФПД та ТР ПЕ і ДП.

Одним з протиріч розвитку ПЕ та ДП, сформульованих у роботі [1], було те, що дані вузли повинні бути простими, довговічними, ремонтпридатними, мати низьке енергоспоживання і невисоку вартість, але, для досягнення високих показників, на цей час, необхідно використовувати

дорогі та складні системи керування і регулювання, що знижують надійність, ускладнюють обслуговування та т.і.

У роботі [2], в результаті проведеного репольного аналізу, було визначено можливі перспективні напрямки подальшого розвитку ПЕ, а саме:

1) розробка нової «основної» речовини ПЕ, «чутливої» до механічного поля, що діє, або введення додаткової речовини з відповідним керуючим полем, з метою полегшення керування характеристиками ПЕ, в залежності від характеристик діючого механічного поля;

2) використання змін властивостей «основної» речовини, пов'язаних з переходом з макро- на мікрорівень;

3) перехід до більш керованого хімічного поля на основі використання явищ сорбції та десорбції, із застосуванням двох «основних» речовин.

Розглянемо більш докладніше один з напрямків, а саме використання змін властивостей «основної» речовини, пов'язаних з переходом з макро- на мікрорівень. Застосуємо цей напрямок для подолання згаданого протиріччя та розробки простої і надійної системи регулювання положення

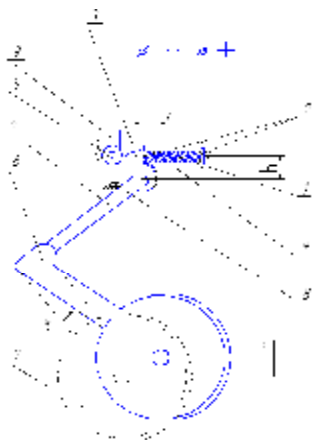


Рисунок 6. Принципова схема підвіски з системою регулювання

підресореного корпусу ВГКМ на основі використання матеріалів в ефектом пам'яті форми. Принципова схема підвіски з даною системою регулювання представлена на рис. 6, де: пружина 1 виготовлена з нікеліду титана з відповідною термічною обробкою та «запам'ятовуванням» форми. Дана пружина була пластично деформована (розтяганням) і закріплена одним кінцем через ізолюючу прокладку 2 до корпусу машини, а іншим кінцем через аналогічну прокладку до рухливої заділки 3, торсіону 4. Заділка 3 пов'язана із храповим механізмом 5. Протилежний кінець торсіона пов'язаний з балансиром підвіски 6, який у свою чергу пов'язаний з

колесом (котком) 7. Для фіксації положення рухливої заділки 3 також використовується упор 8. Зміна положення корпусу ВГКМ в статисти здійснюється шляхом нагрівання електричним струмом пружини 1, що приводить до її стискування внаслідок ефекту пам'яті форми (повернення форми, що «запам'яталася»). Одночасно із цим відбувається розблокування храпового механізму за допомогою блокувальника 9. Стиск пружини 1 приведе до повороту рухливої заділки 3, а отже і балансира 6 на кут β , що приведе до збільшення кліренсу на величину H . При досягненні необхідного кліренсу

блокується храповий механізм 3 і знімається напруга із пружини 1. Для повернення кліренсу до вихідного положення храповий механізм розблоковується і ВГКМ під власною вагою повертає рухливу заділку 3 торсіона 4, поки вона не упреться в упор 8. При роботі в різних кліматичних умовах температура пружини контролюється термодатчиком 9. Проведені розрахунки показали принципову можливість створення такої системи регулювання положення корпусу для легких ВГКМ, яка і була запатентована [4].

Використання ефекту пам'яті форми в системі регулювання положення корпусу ВГКМ, має ряд переваг і недоліків, у порівнянні з аналогічними традиційними конструкціями (пневматичними, гідравлічними або механічними). Як показали дослідження, основними проблемами використання ефекту пам'яті форми з метою регулювання положення корпусу ВГКМ є такі:

- 1) обмежена величина регулювання положення корпусу (для кліренсу – у межах 100...120мм), внаслідок малого робочого ходу пружини, що має прийнятні габарити та масу і реалізує ефект пам'яті форми (деформація повернення форми складає до 8%);

- 2) система регулювання має досить високе енергоспоживання, яке витрачається на нагрів пружин та їх охолодження;

- 3) велика вартість сплаву нікеліду титану, який має найкращі показники по ефекту пам'яті форми.

Для вирішення даних проблем потрібна розробка нових матеріалів з більш вираженим ефектом пам'яті форми та меншою вартістю.

IV. Можливі перспективні напрямки подальшого розвитку ДП, за результатами проведеного репольного аналізу, було визначено, у роботі [3]. Це:

- 1) модифікація «основної» речовини (робочих рідин і матеріалів поверхонь тертя), з метою усунення (мінімізації) недоліків відомих ТР ДП;

- 2) використання змін властивостей «основної» речовини, пов'язане з переходом з макро- на мікрорівень;

- 3) застосування додаткової речовини з відповідним керуючим полем, з метою полегшення керування характеристиками ДП, в залежності від характеристик діючого механічного поля.

Використаємо останній напрямок для створення простої та надійної системи керування характеристиками ФА.

Недоліками ФА є великий знос дисків, нестабільність характеристик та їх незалежність від дорожніх умов руху. Для ліквідації перших двох недоліків, металеві рухомі і нерухомі диски ФА танку Леопард-2 (ФРН) мають тефлонове покриття та працюють у маслі.

Використаємо дану конструкцію за прототип та, з метою підвищення ефективності роботи ФА шляхом керування його характеристиками, в залежності від дорожніх умов руху, введемо додаткову речовину у вигляді

напівпровідникового покриття нерухомих дисків, яке, при зміні температури, забезпечує зміну коефіцієнту тертя між дисками (ефект Джонсона – Рабека). Зміна температури дисків відбувається у разі інтенсивної роботи ФА при руху ВГКМ у важких дорожніх умовах, або в результаті їх керованого нагріву електричним струмом. Конструкція даного ФА (рис. 7) складається із корпусу 1, де нарізані шліци на які одягаються нерухомі диски 2, з нанесеним напівпровідниковим матеріалом (целюлоза або геміцелюлоза), що підключені до контактних планок 3 і 4. Рухомі диски 5, кріпляться на осі балансира 6. На контактні планки системою керування (не показана) подається електричний струм. При русі ВГКМ, її корпус зазнає динамічних навантажень від нерівностей дороги, які викликають його коливання. Вісь балансира 6 повертається, рухомі диски 5 і нерухомі диски 2 починають взаємодіяти, створюючи при цьому протидію подальшому повороту осі балансира. У важких дорожніх умовах, напівпровідникове покриття на нерухомих дисках 2 нагрівається від інтенсивного тертя, що призводить до збільшення коефіцієнту тертя та підвищення ефективності ФА.

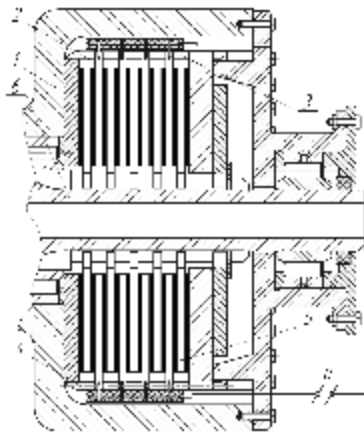


Рисунок 7 – Конструкція фрикційного амортизатора із змінним коефіцієнтом тертя

Крім цього зміна коефіцієнта тертя можлива в залежності від умов руху, шляхом нагрівання напівпровідникового покриття дисків електричним струмом, що подається на контактні планки 3 і 4 системою керування. Таким чином, використання ефекту Джонсона – Рабека дозволяє підвищити ефективність ФА шляхом реалізації простої та надійної системи керування його характеристиками в залежності від дорожніх умов руху машини. Дана конструкція ФА була запатентована [5].

Висновки:

1. Проведено параметричну оптимізацію характеристики ПЕ з ділянкою “нульової” (мінімальної) жорсткості, яка дозволила в певній мірі подолати протиріччя розвитку ПЕ та, у порівнянні з їх звичайною характеристикою, стосовно БТР-70, покращити плавність ходу на дорезонансному, резонансному і зарезонансному режимах руху відповідно на 89%, 20% та у 3,4 рази;

2. Одержано оптимальну характеристику ДП на зворотньому ході, яка забезпечується системою керування і дозволяє істотно, до 25%, підвищити плавність ходу на резонансному і зарезонансному режимах руху;

3. Синтезовано і запатентовано систему регулювання положення корпусу ВГКМ на основі нового ФПД з використанням ефекту пам'яті форми, яка відрізняється простотою та надійністю;

4. Синтезовано і запатентовано новий ФПД керування характеристиками ФА, який відрізняється простотою, надійністю і малою вагою та габаритами вузлів.

Список літератури: 1. *Дущенко В. В.* Синтез систем підресорювання військових гусеничних і колісних машин; постановка задачі / В.В. Дущенко // *Механіка та машинобудування*. – 2006. – №2. – С. 77–82. 2. *Дущенко В.В.* Вепольный анализ упругих элементов систем поддресоривания военных гусеничных и колесных машин / В.В. Дущенко // *Механіка та машинобудування*. – 2007. – №2. – С. 163–169. 3. *Дущенко В.В.* Вепольный анализ демпфирующих устройств систем поддресоривания военных гусеничных и колесных машин / В.В. Дущенко // *Механіка та машинобудування*. – 2008. – №1. – С. 130–140. 4. Пат. 37869 на корис. мод., Україна, МПК В60G 17/015. Система регулювання положення корпусу транспортного засобу/ *Дущенко В.В., Щербина О.О.*; заявник і патентовласник Нац. Техн. Ун-т „Харків-й політехн. ін-т”. – № у 200809281; заявл. 16.07.08; опубл. 10.12.08, Бюл. № 23. 5. Пат. 37887 на корис. мод., Україна, МПК F16F 7/00. Фрикційний амортизатор / *Дущенко В.В., Сипливий І.М.*; заявник і патентовласник Нац. Техн. Ун-т „Харків-й політехн. ін-т”. – № у 200809513; заявл. 21.07.08; опубл. 10.12.08, Бюл. № 23.

Поступила в редколлегию 19.11.2009